

ФЕНОМЕНОЛОГИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ РАЗВИТИЯ ДЕФОРМАЦИОННОЙ ПОВРЕЖДАЕМОСТИ В МАЛОУГЛЕРОДИСТОЙ СТАЛИ

Яковенко А.А.²

Руководитель – проф., д.т.н. Чуканов А.Н.¹

¹ ФГБОУ ВПО «Тульский государственный университет», г. Тула

² ООО «Металлург-Туламаш», г. Тула

AlexYakovenk@gmail.com

С целью экспериментального подтверждения синергетической концепции деформационной повреждаемости совместно анализировали внутреннее трение, характеристики микроструктуры и тонкой структуры, результаты механических и микромеханических испытаний деформированных сталей 20, Ст 3, 08Г2С, сплава Fe-0,09 % С. Выявлены механизмы и закономерности повреждаемости, предложена феноменологическая модель её развития.

Повреждаемость включает в себя два основных процесса: 1) подготовительный – деградацию (субструктурные изменения, ведущие к началу трещинообразования) и 2) деструкцию (появление и рост микронесплошностей различного размера и морфологии).

Для оценки индивидуальных особенностей и взаимного влияния (синергетики) деградации и деструкции в развитии повреждаемости на структуру и свойства при деформировании применяли комплекс кинетического, статистического и синергетического подходов.

Объектами исследований являлись промышленные малоуглеродистые стали: обыкновенного качества (сталь Ст 3), качественные (сталь 20), трубная сталь марки 08Г2С, модельный бинарный сплав Fe-0,09 % С.

Применяли комплекс методов и методик: механические испытания, рентгеноструктурный, дюрOMETрический и металлографический анализы. Оценку диссипативных (аккомодационных) возможностей материала вели с помощью измерения диссипации (релаксации) механической энергии – внутреннего трения (ВТ) в инфразвуковом, звуковом и ультразвуковом диапазонах. Неупругие эффекты использовали как высокоточные избирательные инструменты анализа субструктуры. Фон ВТ – иллюстрировал уровень микроискажений в объеме образца; деструкционный максимум (Д) – фиксировал уровень микроискажений в локальных зонах их концентрации; максимум Снука (Сн) – отражал концентрацию атомов С, N в феррите; максимум Снука-Ке-Кестера (СК) – интенсивность дислокационно-примесного взаимодействия (ДПВ) и микроискажений [1].

Выявили три диапазона, отличавшиеся характером изменения параметров субструктуры с увеличением степени предварительной деформации: I (0...4%), II (4...10÷12%), III (10÷12...17 %).

Область I - область деградации, область II деградационно-деструкционная, область III - область активной деструкции. В указанных областях выявили развитие следующих процессов.

Область I. (0-4%). а) перераспределение C , N , б) снижение ДПВ; в) рост уровня микроискажений в объеме. Эти выводы подтвердили результаты рентгеноструктурного анализа, фиксирующие рост плотности свободных дислокаций и микронапряжений. Металлографический анализ выявил наличие несплошностей размером 1-2 мкм. Указанные изменения не затрагивали модуль упругости, размер областей когерентного рассеяния и параметр решетки феррита.

Область II. (4...10÷12%) - область немонотонного изменения перечисленных параметров. Это связывали с растущим вкладом деструкционных процессов. С помощью металлографического анализа фиксировали эволюцию микротрещин, определили их количество и размеры. На графиках распределения трещин по количеству и размерам также наблюдали 3 области. Их границы отражали максимумы роста различных групп трещин при взаимном существовании. Эти границы (для области I - 4%, области II - 10÷12 %) соответствуют переходным диапазонам изменения размера трещин в интервалах 2-5 мкм, 5-11 мкм. Ведущим является перколяция – процесс слияния соседствующих трещин при выполнении концентрационного критерия Журкова С.Н.

Наблюдали периодическое (почти циклическое) согласованное изменение параметров деградации и деструкции (несколько диапазонов с различной динамикой процессов с максимумами при 4 и 10...12 % деформации).

Это отражало совместное участие в повреждаемости в области II как механизмов деградации, так и трещинообразования. В терминах кинетической термодинамики происходила «самосборка» стабильных структур в квазиравновесных условиях, отвечающих достигнутому диссипативному состоянию.

Таковыми стабильными структурами являются упорядоченные дислокационные структуры, характерные для деформированных железо-углеродистых сплавов: дислокационные стенки блоков. Для подтверждения этого провели дополнительный анализ рентгенографических данных. Строили зависимость отношений уширений по линиям [220] и [110] от степени предварительной деформации. Выявили два типа процессов – а) накопление микронапряжений (область I и III) и б) формирование упорядоченных дислокационных структур типа стенок – область II. Этот вывод подтвердили результаты УЗ дефектоскопии.

В области III стабилизируется достигнутый высокий уровень объемных микроискажений. Это отражали данные УЗД и измерения микротвердости. Количество трещин уменьшается, растет их размер (11-15 мкм, что соответствует размеру зерна феррита). Действующие напряжения в области

III ведут к формированию трехосного напряженного состояния (в шейке) и переходу повреждаемости на макроскопический уровень.

Перечисленные результаты позволили разработать феноменологическую модель развития деформационной повреждаемости в условиях статического нагружения. Она включает следующие этапы:

1. Устойчивое неупорядоченное состояние. Перераспределение примесей внедрения в твердом растворе; изменение подвижности дислокаций и дислокационно-примесного взаимодействия; увеличение плотности свободных дислокаций и объемных микроискажений. Возникновение хаотических дислокационных конфигураций; возникновение заблокированных дислокационных групп; создание локализованных зон концентрации напряжений (ЛЗКН); возникновение субмикротрещин в ЛЗКН.

2-3. Переход к неустойчивому упорядоченному состоянию. Взаимодействие микротрещин (МТ) и субмикротрещин (СМТ) в ЛЗКН; слияние МТ и СМТ, образование ювенильных поверхностей; диффузия атомов углерода и миграция дислокаций к ювенильным поверхностям; изменение рельефа поверхностей микротрещин.

4-6. Формирование упорядоченного состояния. Достижение критической концентрации МТ, активного размера и зон захвата в объеме (критическая величина концентрационного критерия Журкова С.Н.), скачкообразный рост их размера (слияние в зоне захвата по механизму перколяции). Формирование стабильных дислокационных конфигураций (дислокационных стенок). Рост размера трещин в зоне трехосного напряженного состояния.

Описанная последовательность развития повреждаемости соответствует моделям Одинга И.А., Либерова Ю.П., Рыбаковой Л.М. и Ботвиной Л.Р. Сопоставление стадийности процессов, зафиксированных в данной работе, показало их особенно хорошее согласие с диапазонами и механизмами стадий модели Л.Р. Ботвиной в областях активной эволюции трещин - II и III.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ:

1. Chukanov A.N., Levin D.M., Yakovenko A.A. Use and Prospects for the Internal Friction Method in Assessing the Degradation and Destruction of Iron-Carbon Alloys// ISSN1062-8738. Bulletin of the Russian Academy of Sciences. Physics, 2011, Vol. 75, No 10, pp. 1340-1344.